

ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE MANIPULADORES ROBÓTICOS

- 8.1 Introdução
- 8.2 Robôs industriais
- 8.3 Classificação
- 8.4 Sensores
- 8.5 Acionamento e controle de robôs
- 8.6 Programação de robôs
- 8.7 Precisão e capacidade de repetição
- 8.8 Garras e ferramentas

Neste capítulo são descritos os aspectos construtivos de manipuladores robóticos, com a apresentação de configurações industriais básicas, mecanismos de manipulação e preensão de objetos e aplicações. É dada ênfase ao estudo do braço mecânico do robô, seus tipos de juntas e graus de liberdade, bem como de articulação, sua área de trabalho (*workspace*) e as formas de acionamento.

Ao final, comentamos algumas utilizações de robôs industriais em instalações produtivas.

8.1 INTRODUÇÃO

Desde que a empresa Unimation instalou o primeiro robô industrial em 1961, milhares de robôs vêm sendo empregados nas indústrias de todo o mundo. Na atualidade, eles já somam mais de 700 mil (ABB, 2000; IFR, 2000). De acordo com a Associação de Indústrias de Robôs dos Estados Unidos (Robot Industries Association, RIA), são “manipuladores reprogramáveis e multifuncionais, projetados para manipular materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados por meio de movimentos variáveis programados para a realização de tarefas diversas” (Spong & Vidyasagar, 1989).

Com respeito à estrutura, um robô é um sistema mecânico, de geometria variada, composto por corpos rígidos, articulados entre si, destinado a sustentar e posicionar/orientar a ferramenta terminal, que, dotado de garra mecânica ou ferramenta especializada, fica em contato direto com o processo. A mobilidade do manipulador é resultado de uma série de movimentos elementares, independentes entre si, denominados *graus de liberdade do robô* (Armada, 1995).

8.2 ROBÔS INDUSTRIAIS

O braço do robô executa movimentos no espaço, transferindo objetos e ferramentas de um ponto para outro, instruído pelo controlador e informado sobre o ambiente por sensores. Na extremidade do braço, existe um atuador usado na execução de suas tarefas.

Todo braço de robô é composto de uma série de vínculos e juntas; é a junta que conecta dois vínculos e com isso permite o movimento relativo entre eles, como mostra a Figura 8.1. Todo robô possui uma base fixa e o primeiro vínculo está preso a ela. A mobilidade de um robô depende do número de vínculos e articulações que possui.

8.2.1 JUNTAS ROBÓTICAS

O braço manipulador de um robô é capaz de se mover para várias posições devido à existência de uniões ou juntas, também denominadas *eixos*, que lhe permitem executar tarefas diversas. O movimento da junta de um robô pode ser *linear* ou *rotacional*.

O número de juntas determina os graus de liberdade do robô; a maioria deles possui de três a seis eixos, os quais podem ser divididos em duas classes: eixo do corpo e eixo da extremidade do robô. Os eixos da base do corpo, que permitem movimentar a ferramenta terminal para uma determinada posição no espaço, são denominados cintura, ombro e cotovelo (*waist, shoulder e elbow* em inglês). Com os eixos da extremidade do robô, denominados rolamento, mergulho e guinada (*roll, pitch e yaw*) (Figura 8.2), é possível orientar a ferramenta terminal.

Um robô industrial possui seis graus de liberdade, três para o posicionamento da ferramenta terminal e três para orientação, compatível com tarefas realizadas segundo seu volume de trabalho.

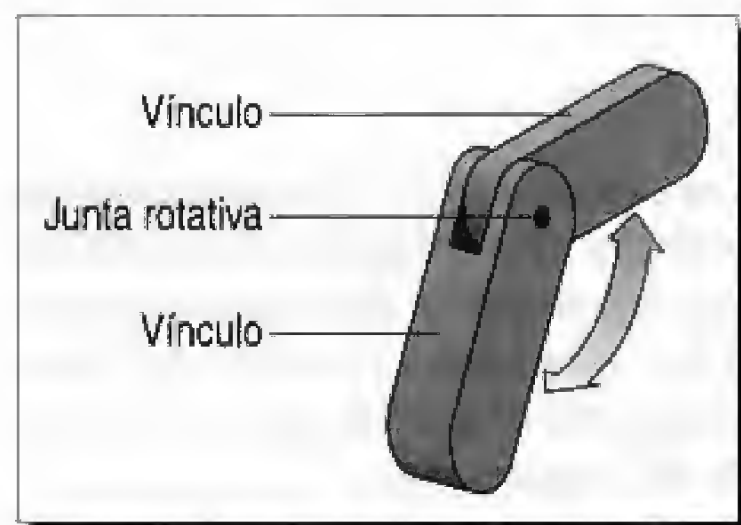


Figura 8.1 Junta e vínculos em um braço de robô.



Figura 8.2 Exemplo de robôs industriais.

Com menos de seis graus de liberdade não se alcançam todos os pontos de um ambiente de trabalho. Um robô com mais de seis juntas é denominado *robô redundante*, o que significa que tem mais graus de liberdade do que o mínimo necessário para a execução da tarefa. No Capítulo 9 deste livro, que trata da modelagem cinemática de manipuladores robóticos, abordaremos esse tipo de manipulador robótico.

8.2.2 TIPOS DE JUNTA

Os braços robóticos podem ser constituídos por juntas:

- a) *Deslizantes* (Figura 8.3a), que permitem o movimento linear entre dois vínculos. São compostas de dois vínculos alinhados um dentro do outro; o vínculo interno escorrega pelo externo e dá origem ao movimento linear.
- b) *Rotativas* (Figura 8.3b), cuja conexão possibilita movimentos de rotação entre dois vínculos unidos por uma dobradiça comum, com uma parte podendo se mover num movimento cadenciado em relação à outra. As juntas rotativas são utilizadas em diversas ferramentas e dispositivos, tais como em tesouras, limpadores de pára-brisa e quebra-nozes.
- c) Do tipo *bola-e-encaixe* (Figura 8.4), conexão que se comporta como uma combinação de três juntas de rotação, permitindo movimentos de rotação em torno dos três eixos.

A maioria dos braços robóticos é interligada por juntas deslizantes e de revolução, embora alguns incluam o do tipo bola-e-encaixe.

As juntas bola-e-encaixe são pouco empregadas em robótica devido à sua dificuldade de acionamento. De qualquer maneira, para ter a mesma performance de uma junta bola-e-encaixe, muitos robôs incluem três juntas rotacionais separadas, cujos eixos de movimentação se cruzam em um ponto, como na Figura 8.4.

8.2.3 GRAUS DE LIBERDADE

O número de articulações em um braço robótico está geralmente associado ao número de graus de liberdade. Quando o movimento relativo ocorre em um único eixo, a articulação tem

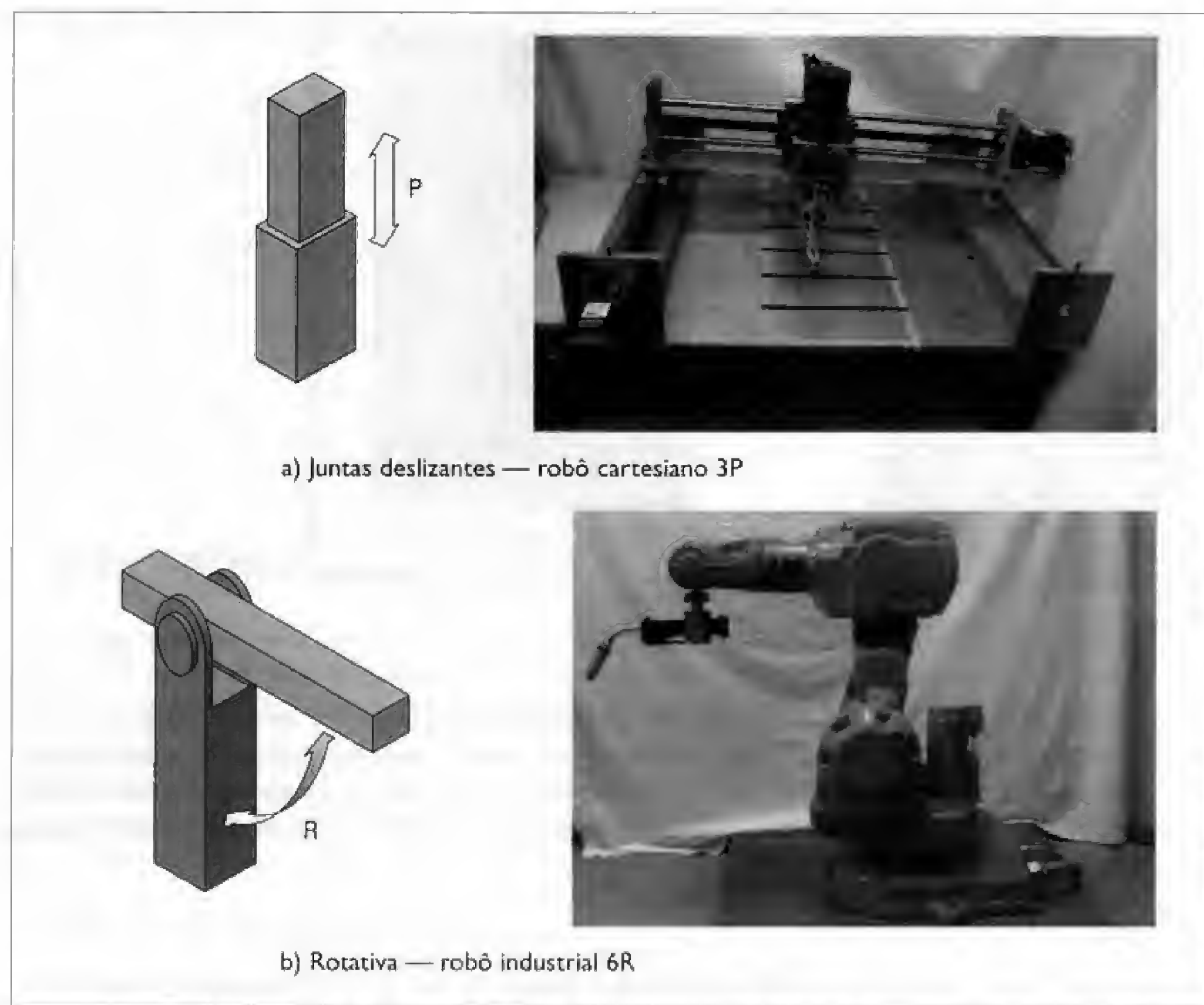


Figura 8.3 Tipos de junta robótica e suas aplicações.

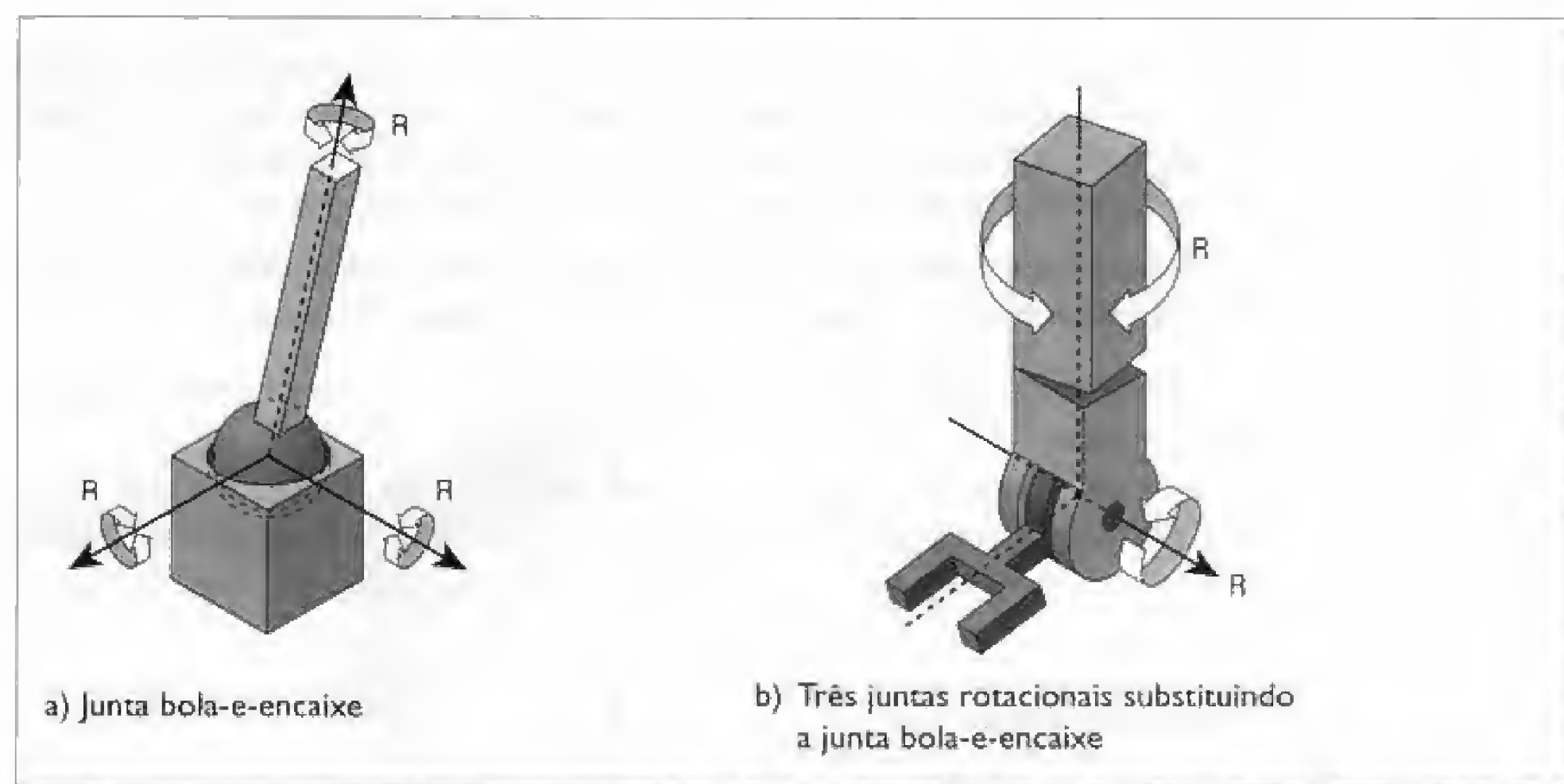


Figura 8.4 Junta do tipo bola-e-encaixe.

um grau de liberdade. Quando o movimento se dá em mais de um eixo, a articulação apresenta dois graus de liberdade. A maioria dos robôs industriais tem entre quatro e seis graus de liberdade. A título comparativo, um ser humano tem sete graus de liberdade do ombro até o pulso.

8.3 CLASSIFICAÇÃO

Os robôs industriais podem ser classificados de acordo com o número de juntas, o tipo de controle, o tipo de acionamento e a geometria (Engelberger, 1995). É usual classificar os robôs de acordo com o tipo de junta, ou, mais exatamente, pelas três juntas mais próximas da base do robô. Também podem ser classificados em relação ao espaço de trabalho (*workspace*), ao grau de rigidez, à extensão de controle sobre o curso do movimento e de acordo com as aplicações adequadas ou inadequadas a eles.

8.3.1 GEOMETRIA DO ROBÔ

Os diferentes graus de liberdade de um robô podem ser encontrados em várias combinações de configurações rotacionais e lineares, dependendo da aplicação. Tais combinações são denominadas *geometria do robô*.

Existem cinco classes principais de manipuladores, segundo o tipo de junta — de rotação ou revolução (R), ou de translação ou prismática (P) — o que permite diferentes possibilidades de posicionamento no volume de trabalho. As cinco classes ou geometrias principais de um robô — igualmente chamadas *sistemas geométricos coordenados*, posto que descrevem o tipo de movimento que o robô executa — são cartesiana, cilíndrica, esférica (ou polar), de revolução (ou articulada) e Scara (Selective Compliant Articulated Robot for Assembly).

O código usado para essas classificações consiste numa sequência de três letras, que representam os tipos de junta (R = revolução e P = deslizante, do inglês *prismatic*) na ordem em que ocorrem, começando da junta mais próxima até a base.

ROBÔ DE COORDENADAS CARTESIANAS

Um robô de coordenadas cartesianas, ou robô cartesiano (Figura 8.5), pode se movimentar em linha reta, em deslocamentos horizontais e verticais. As coordenadas cartesianas especificam um

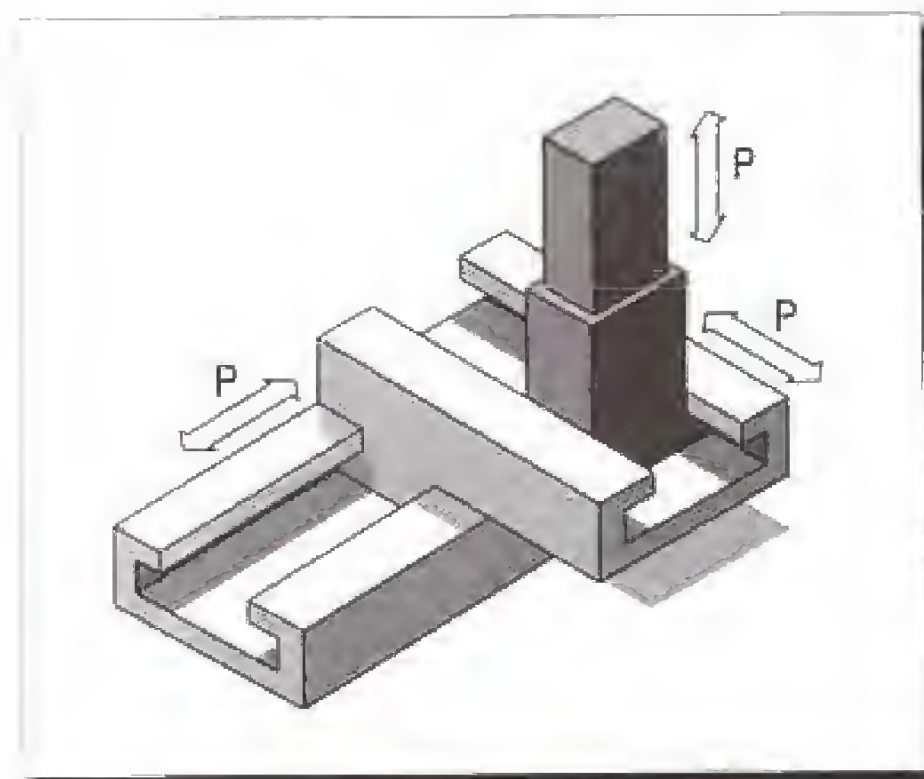


Figura 8.5 Eixos de um robô cartesiano (prismático-prismático-prismático, PPP).

ponto do espaço em função de suas coordenadas x , y e z . Esses robôs têm três articulações deslizantes e são codificados como PPP.

Os robôs cartesianos caracterizam-se pela pequena área de trabalho, pelo elevado grau de rigidez mecânica e pela grande exatidão na localização do atuador. Seu controle é simples em razão do movimento linear dos vínculos e de o momento de inércia da carga ser fixo em toda a área de atuação.

ROBÔ DE COORDENADAS CILÍNDRICAS

Robôs deste tipo combinam movimentos lineares com movimentos rotacionais, descrevendo um movimento final em torno de um envelope cilíndrico. Normalmente, possuem um movimento rotacional na cintura e movimentos lineares. Os graus de liberdade do robô de coordenadas cilíndricas, codificado como RPP, como mostra a Figura 8.6, consistem em uma junta de revolução e duas juntas deslizantes.

A área de trabalho desses robôs é maior que a dos robôs cartesianos, mas a rigidez mecânica é ligeiramente inferior. O controle é um pouco mais complicado que o do modelo cartesiano, devido à existência de vários momentos de inércia para diferentes pontos na área de trabalho e pela rotação da junta da base.

ROBÔ DE COORDENADAS POLARES (ESFÉRICAS)

Um robô de coordenadas polares ou esféricas possui dois movimentos rotacionais, na cintura e no ombro, e um terceiro, que é linear — os três eixos descrevem um envelope esférico. Esses robôs, codificados como RRP, como se vê na Figura 8.7, possuem duas juntas de revolução e uma deslizante.

Sua área de trabalho é maior que a dos modelos cilíndricos, porém sua rigidez mecânica é menor. E o controle é ainda mais complicado devido aos movimentos de rotação.

ROBÔ DE COORDENADAS DE REVOLUÇÃO (ARTICULADO)

As juntas e os movimentos de um robô de coordenadas de revolução se assemelham aos de um braço humano. O robô Puma (Programmable Universal Machine for Assembly), um dos projetos mais populares de robôs articulados, foi projetado inicialmente para atender aos requerimentos da

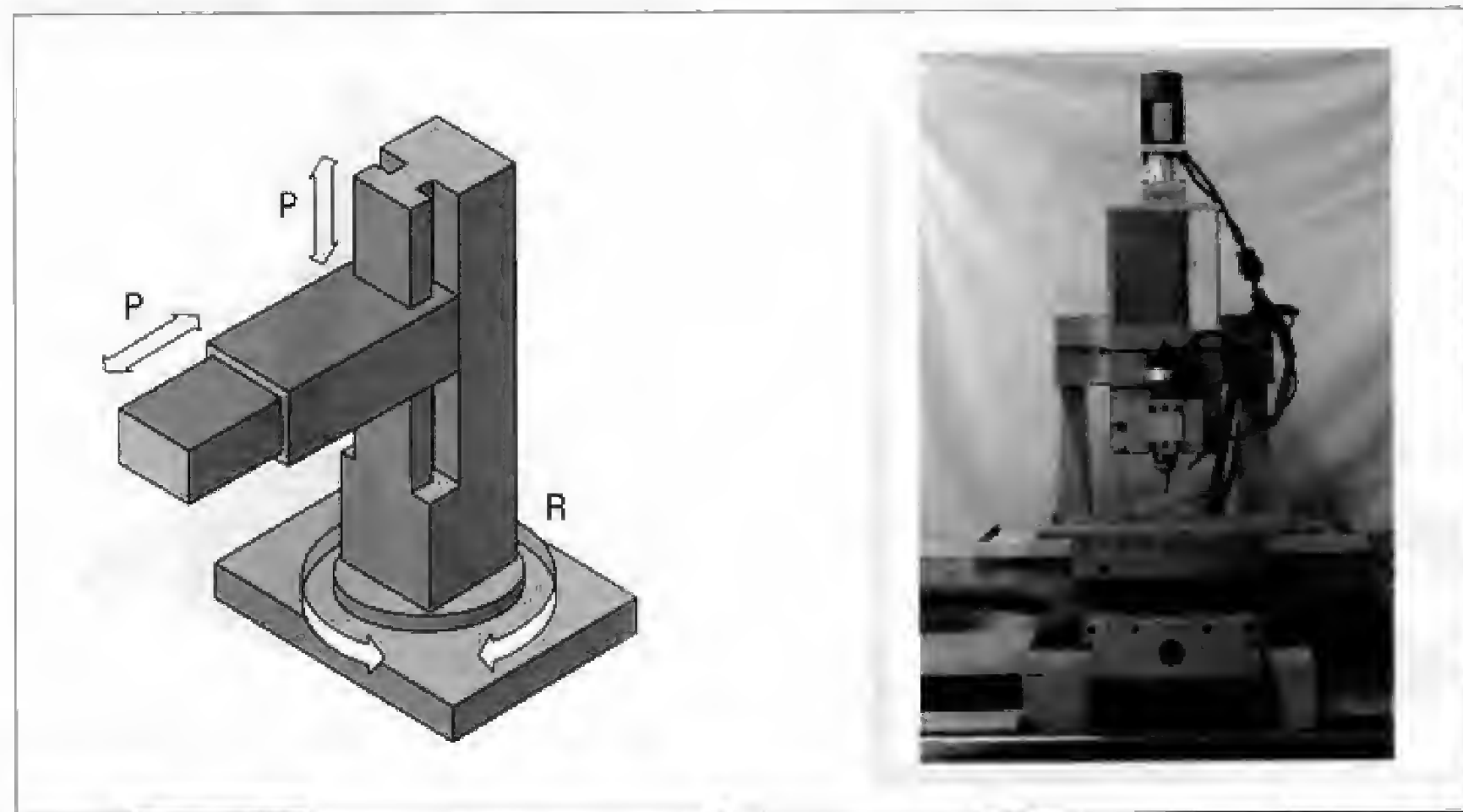


Figura 8.6 Eixos de um robô de coordenadas cilíndricas (RPP).

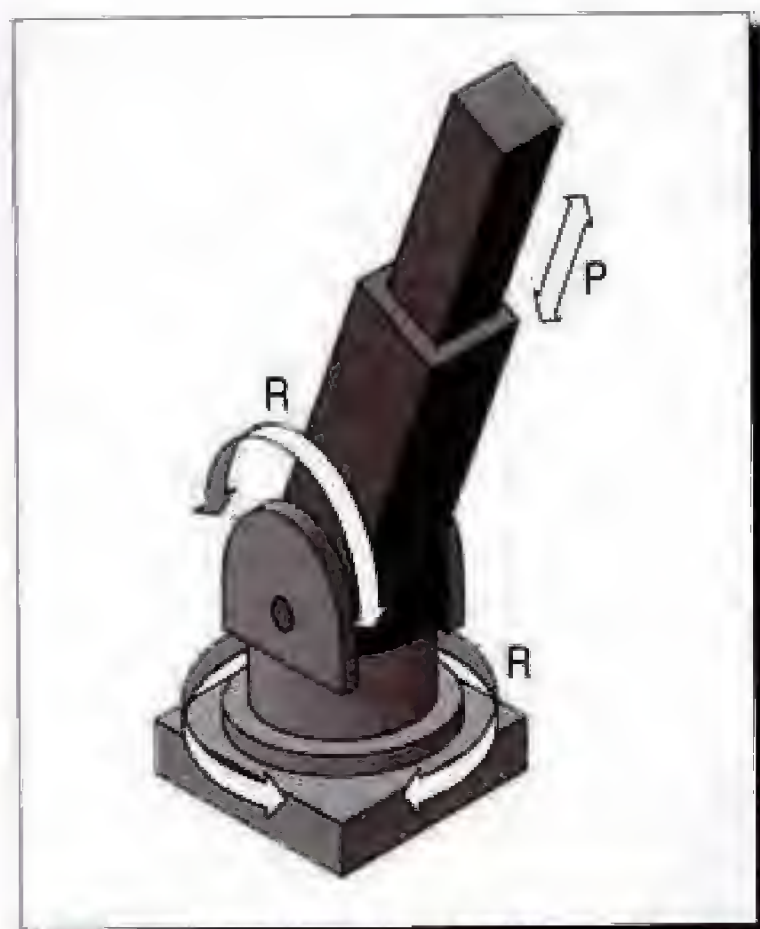


Figura 8.7 Eixos de um robô de coordenadas polares ou esféricas (RRP).

indústria automobilística. Caracterizam-se por possuir três juntas de revolução e são codificados como RRR, como mostra a Figura 8.8.

Sua área de atuação é maior que a de qualquer tipo de robô, contudo apresentam baixa rigidez mecânica. Seu controle é complicado e difícil em razão das três juntas de revolução e das variações no momento de carga e no de inércia.

ROBÔ SCARA

O robô Scara, uma configuração recente utilizada para tarefas de montagem, é codificado como RRP e caracteriza-se por possuir duas juntas de revolução e uma deslizante. Embora na configuração sejam encontrados tipos de junta idênticos aos de uma configuração esférica, ela se diferencia da esférica tanto pela aparência como pela faixa de aplicação (Figura 8.9).

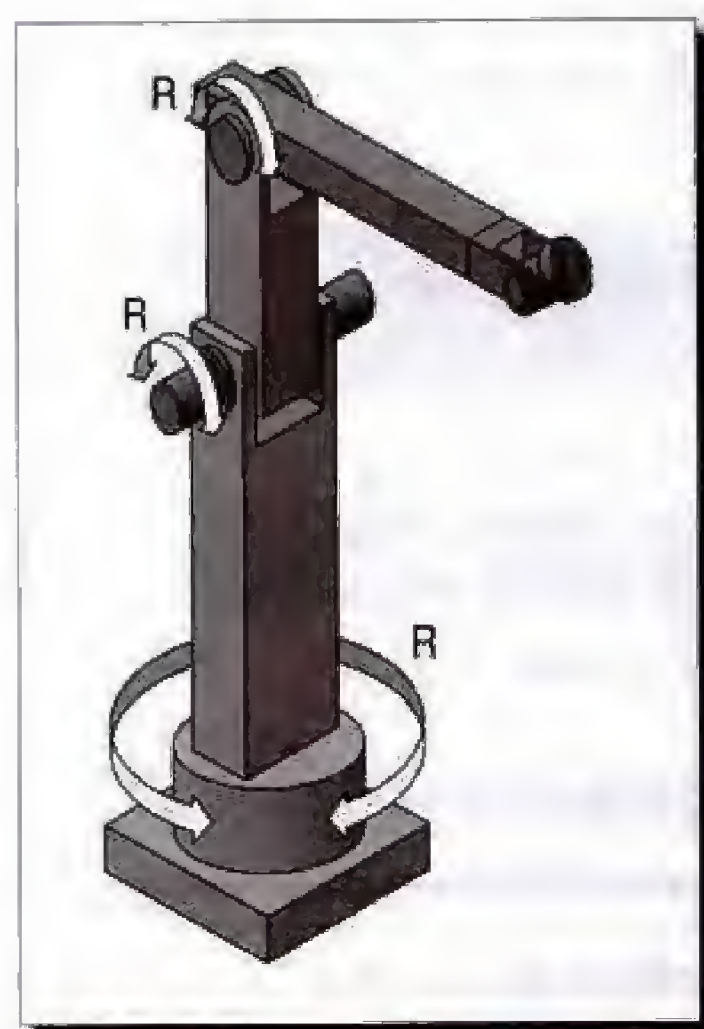


Figura 8.8 Eixos de um robô de coordenadas de revolução ou articulado (RRR).

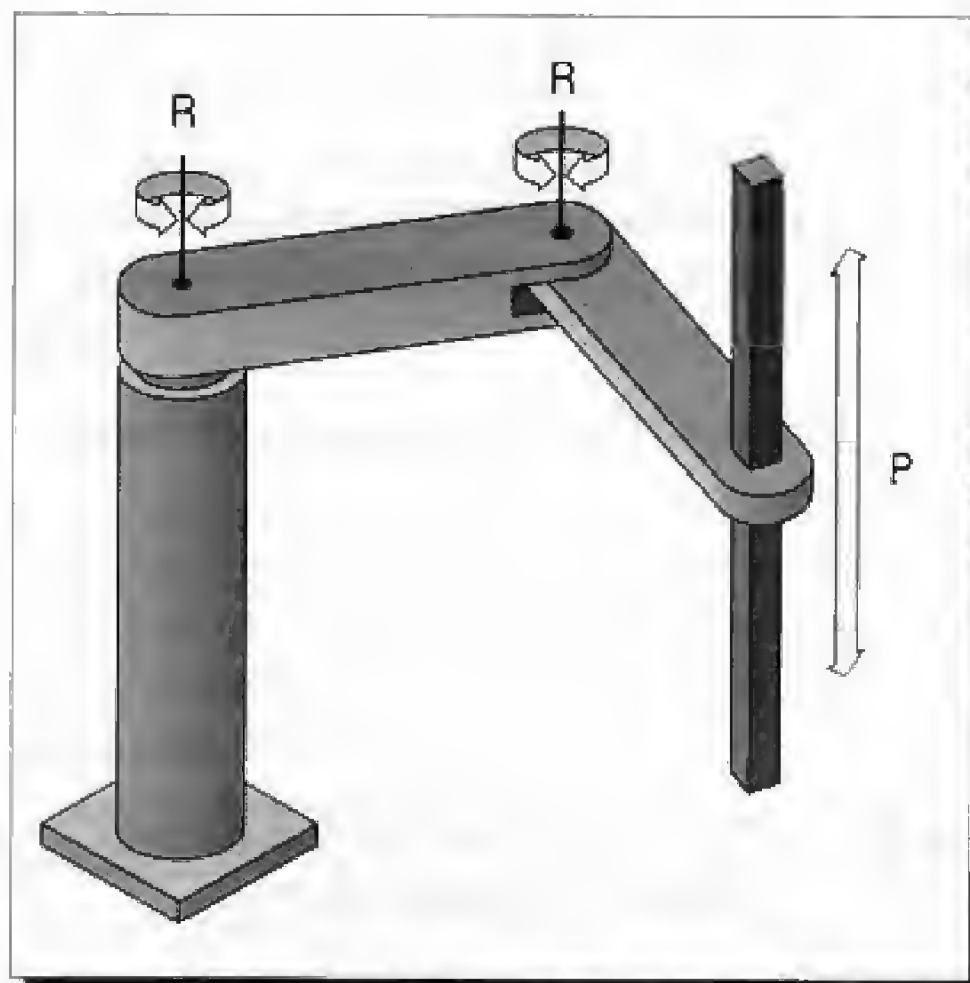


Figura 8.9 Eixos de um robô Scara (RRP).

Os robôs Scara têm área de atuação menor que a do modelo esférico e são apropriados para operações de montagem devido ao movimento linear vertical do terceiro eixo.

8.3.2 AVALIAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES ROBÓTICAS QUANTO À CAPACIDADE DE REALIZAÇÃO DE TAREFAS

Um estudo dessa natureza, que pode ser efetuado por meio de uma análise matemática básica para o cálculo da capacidade dos robôs, como mostra a Figura 8.10, é resumido na Tabela 8.1.

Com a avaliação dos tipos de articulação e de sua configuração especial, o projetista pode estimar a área de atuação do robô, sua rigidez mecânica e a facilidade de controle do braço e, assim, identificar a tarefa mais apropriada para cada tipo de robô.

O movimento das articulações capacita o robô a mover o atuador para qualquer ponto na sua área de atuação, mas não o habilita quanto ao controle da orientação do atuador no espaço. A importância do movimento não se restringe ao alcance da peça, mas também à condução do atuador a uma certa

Tipo de configuração das juntas robóticas	Capacidade quanto à área de trabalho
Cartesiano	Alcançam qualquer ponto de um cubo de lado L .
Cilíndrico	Alcançam qualquer ponto em um cilindro de altura L e raio $2L$, exceto os pontos do cilindro interno de raio L e altura L .
Esférico	Alcançam qualquer ponto de uma esfera de raio $2L$, exceto a esfera interna de raio L .
Articulado	Alcançam qualquer ponto de um cilindro de raio $2L$ e altura L .
Scara	Alcançam qualquer ponto de uma esfera de raio $2L$.

Tabela 8.1 Comparação da área de trabalho dos tipos de configuração de robôs.

Movimento de três juntas em relação ao sistema de referência solidário à base do robô		
Descrição de movimentos	Projeção no plano	Representação no espaço de trabalho

Figura 8.10 Comparação da área de trabalho dos tipos de configuração de robôs.

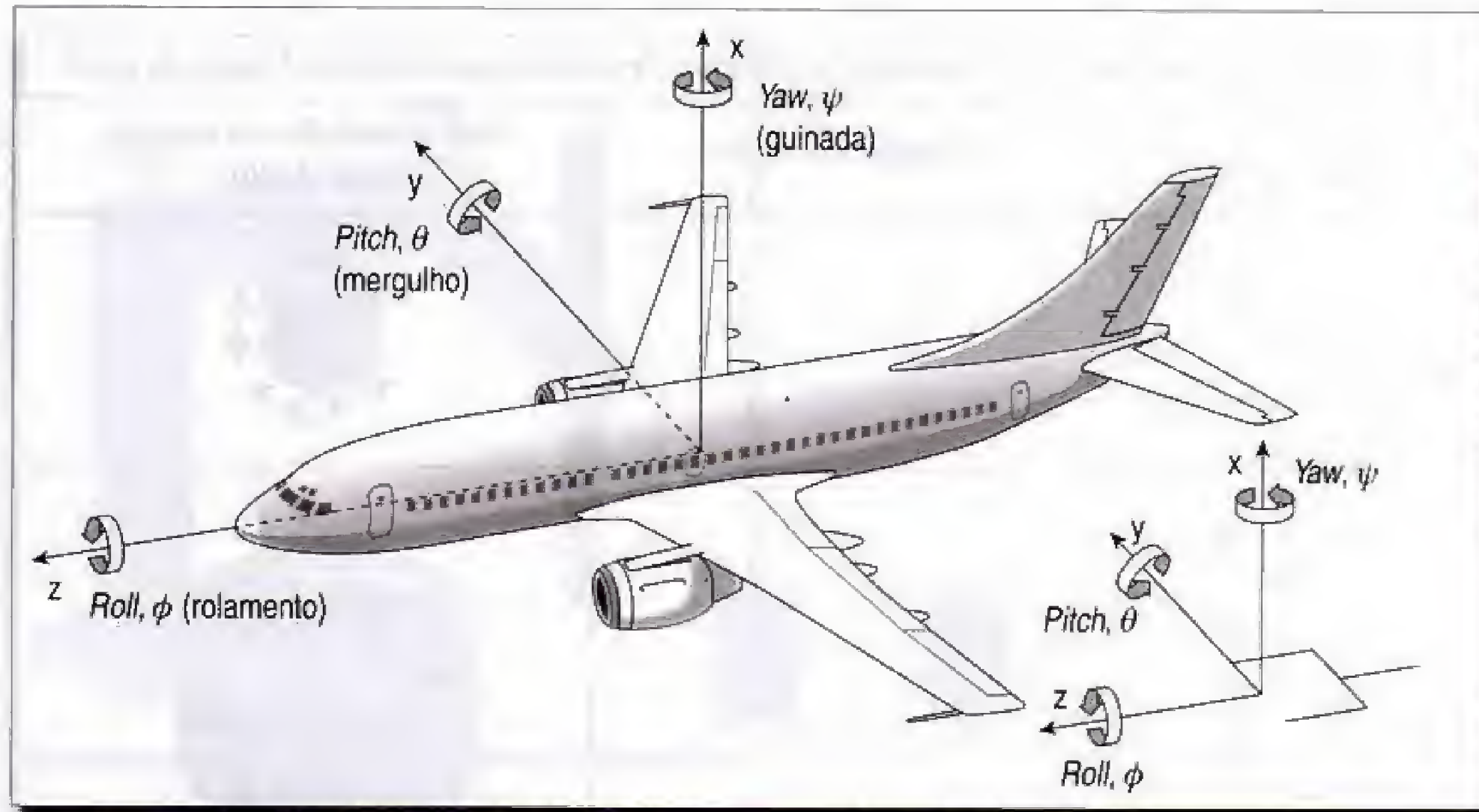


Figura 8.11 Definição dos ângulos de orientação RPY.

altitude em relação à peça. Essa tarefa pode ser realizada mediante a adição de articulações ao pulso do braço, o que lhe confere maior grau de liberdade. Desse modo, o robô fica habilitado a executar os seguintes movimentos (Figura 8.11):

- ❑ *roll* (R): movimento de rotação no sentido horário e anti-horário;
- ❑ *pitch* (P): movimento para cima e para baixo;
- ❑ *yaw* (Y): movimento para a esquerda e para a direita.

8.3.3 CONSTRUÇÃO DE VÍNCULOS

Três fatores importantes na construção dos vínculos (links) são a carga suportada, o peso do próprio braço e o grau de rigidez desse mesmo braço. Um braço pesado necessita de um motor maior, o que torna o custo do robô mais elevado. Um braço de baixa rigidez reduz a precisão do robô devido às vibrações e resposta à tensão. Para aumentar a rigidez mecânica do braço sem aumentar seu peso, frequentemente é usada uma estrutura oca, com maior rigidez mecânica se comparada com uma construção maciça que utiliza a mesma massa de material. Essa comparação é mostrada na Figura 8.12.

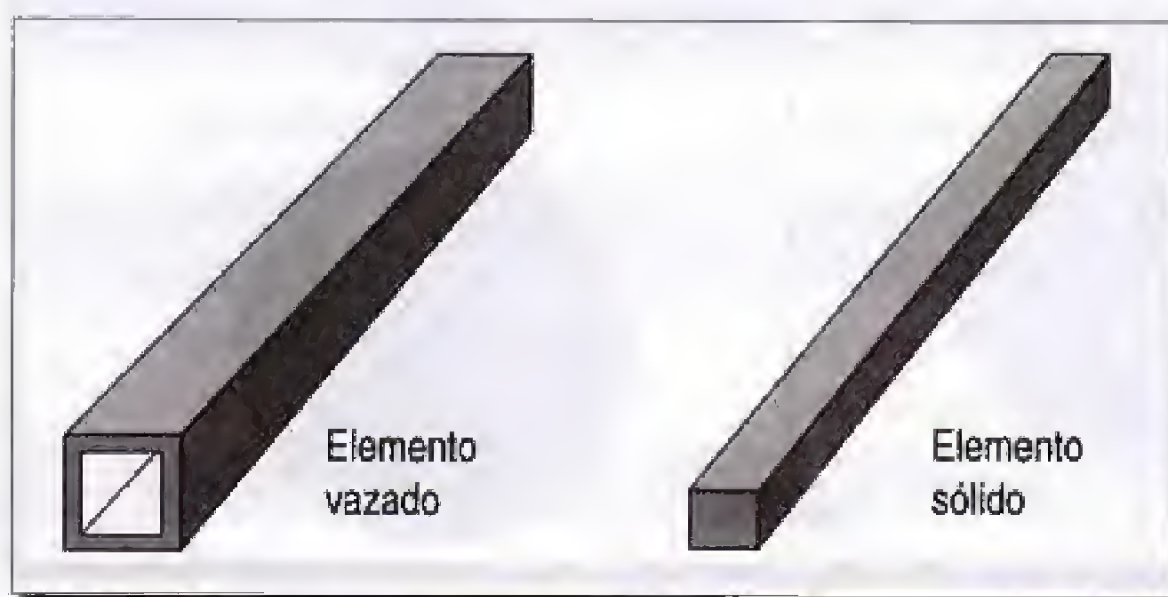


Figura 8.12 Estruturas para a construção de vínculos.

8.4 SENSORES

O uso de sensores permite ao robô obter informações sobre o próprio comportamento e sobre seu ambiente de atuação com a finalidade não só de realizar a operação para a qual foi destinado, como também de modificá-la. Os sensores podem ser agrupados em duas categorias principais: internos ou proprioceptivos, que fornecem informações sobre as variáveis do próprio robô, e externos ou exteroceptivos, cujo objetivo é obter informação do ambiente que o circunda.

A maior parte dos robôs industriais é do tipo convencional, também chamado de *robô de primeira geração*, que desenvolve tarefas pré-programadas repetitivas, necessitando, para realizá-las, unicamente de sensores internos (proprioceptivos), situados nas juntas.

Tais sensores podem ser codificadores ópticos (encoders) do tipo incremental ou absoluto, *síncros*, *resolvers*, potenciômetros multivoltas, tacômetros etc. Os codificadores ópticos incrementais estão entre os sensores mais utilizados, em razão do baixo custo e da precisão proporcionada para a maioria das aplicações.

Encoders são dispositivos eletromecânicos que convertem a rotação angular do eixo do robô em pulsos de saída na forma de ondas quadradas. Assim, podem-se conhecer o sentido de rotação, a posição e a velocidade de todos os eixos do robô. Esse tipo de sensor foi apresentado detalhadamente no Capítulo 4, em que são descritos os principais sensores utilizados nas aplicações mecatrônicas, e será revisto na Figura 8.13.

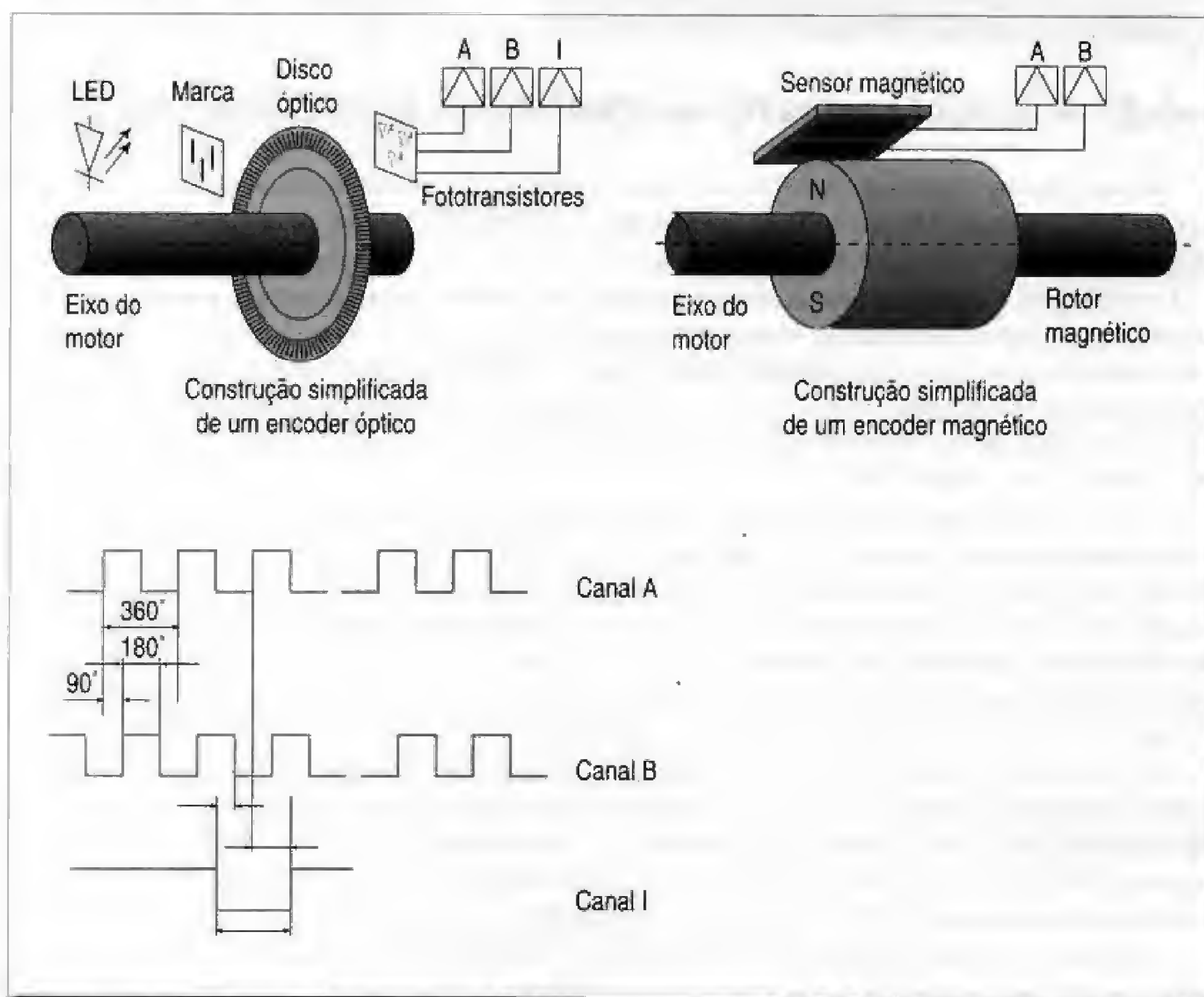


Figura 8.13 Encoders incrementais — princípio de funcionamento.

Entretanto, embora tenham a capacidade de fornecer informações sobre o estado interno do robô, os sensores não possuem dados relativos ao ambiente externo, o que acaba por restringir as aplicações a casos particulares em que as peças que são o objeto da tarefa estão posicionadas dentro das tolerâncias operacionais do robô. Trata-se de um caso típico da indústria automobilística, que utiliza soldagem por resistência, em que as peças a processar são extremamente precisas ou apresentam características acomodáticas, o que permite o emprego de sistemas de sujeição para fixar suas dimensões. Contudo, em várias aplicações de robôs na indústria é difícil obter um sistema de sujeição eficaz (Nof, 1985).

O aparecimento da nova geração de robôs permitiu interconectar sensores exteroceptivos com o controlador do robô; tais sensores podem ser utilizados para obter propriedades relevantes do ambiente e controlar o sistema na execução da tarefa. O emprego dos sensores externos possibilita um controle em malha fechada por meio do qual se levam a cabo aplicações complexas, como agarrar objetos aleatoriamente posicionados e orientados, seguir objetos em movimento em um ambiente 3D, realizar a montagem de dispositivos mecânicos e a inspeção/controle de qualidade de peças, efetuar a busca e a identificação de objetos, além de propiciar o controle preciso do manipulador (Basañez, 1989; Armada, 1995).

Os sensores externos normalmente encontrados nos robôs industriais são sensores de segurança para proteção humana (cortinas de luz, ultra-som, barreiras mecânicas, dispositivos sensíveis a pressão etc.), sensores de contato, sensores ópticos para a determinação de distância a obstáculos e o reconhecimento de objetos, sensores indutivos, capacitivos, de efeito Hall, ultra-sônicos e laser para a determinação de proximidade das peças a manipular.

8.5 ACIONAMENTO E CONTROLE DE ROBÔS

Os eixos de um robô são acionados por atuadores, os quais convertem algum tipo de energia em movimento mecânico. Os três tipos de energia mais comuns para acionar os atuadores de um robô são a pneumática, a elétrica e a hidráulica.

Os atuadores hidráulicos possuem torque e velocidade de resposta sendo adequados para atuar sobre cargas pesadas. No entanto, requerem equipamentos periféricos, como bombas, o que implica a necessidade de manutenção freqüente, além de gerar grande ruído. Os atuadores pneumáticos são mais baratos e simples, mas não podem ser controlados com precisão. Atualmente os motores elétricos, CA ou CC, por serem mais acessíveis e silenciosos, são os mais atrativos para ser empregados em robótica (Engelberger, 1995).

O controle dos atuadores dos robôs em geral é efetuado mediante o uso de dois métodos: servocontrolado ou não servocontrolado. Os robôs não servocontrolados utilizam chaves mecânicas no final do curso de cada junta (*limit switches*), de modo que só é possível ao controlador saber quando um atuador está em uma das duas posições iniciando ou finalizando seu movimento. O posicionamento de cada eixo é controlado por paradas mecânicas ajustáveis, e não pelo controlador. Esse tipo de robô é de baixo custo e capaz de realizar tarefas de seqüência fixa ou variável, como pegar objetos e colocá-los em um lugar determinado (*pick and place*).

Por outro lado, os robôs servo controlados, ao utilizarem sensores internos (ou proprioceptivos), podem conhecer a posição na qual se encontra cada eixo, além de sua velocidade. Por sua vez, o controlador pode controlar a quantidade de energia a ser fornecida aos atuadores, com a finalidade de permitir ao robô mover-se com velocidade variável e parar em qualquer posição. Esses robôs podem realizar tarefas pelo modo ensino e repetição (*playback*) ou por programação de alto nível.

A Figura 8.14 mostra os principais componentes de um robô servocontrolado, a saber: o próprio robô, o módulo de controle (computador e software), os dispositivos de acionamento de potência, as placas de entrada/saída de dados e os periféricos (vídeo, unidade de disco e 'comando manual').

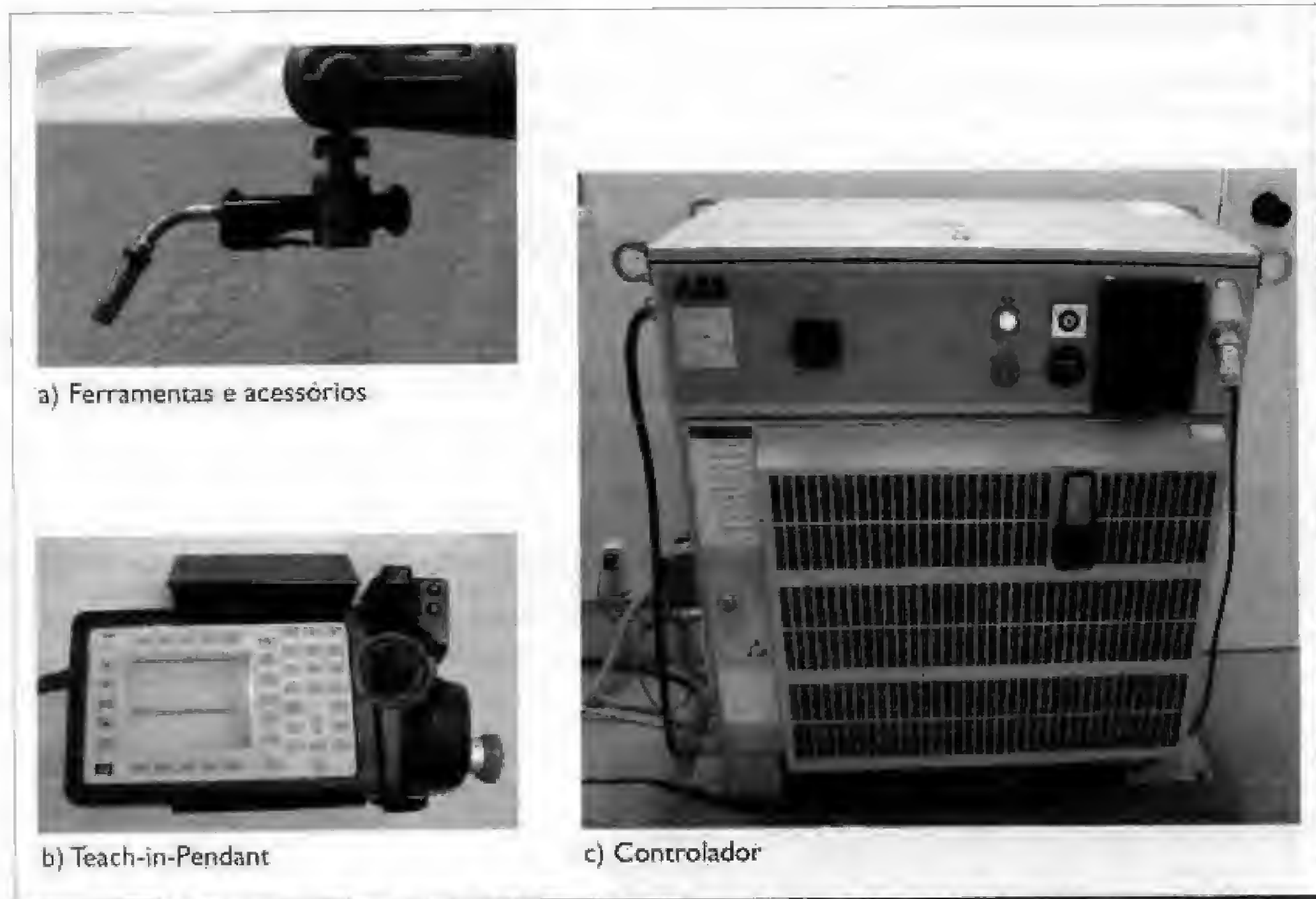


Figura 8.14 Principais componentes de um robô.

O software que controla o robô pode ser digitado diretamente no teclado do módulo de controle (*Teach-in-Pendant*), por intermédio de uma das várias linguagens de programação de robôs, ou por meio de software de programação off-line descrito no próximo capítulo.

8.5.1 TIPOS DE ACIONAMENTO DE UM BRAÇO ROBÓTICO

Existem diversos tipos de driver de acionamento de braços robóticos, classificados genericamente:

- ☐ pela forma de *movimento*, como drivers de rotação e de deslizamento;
- ☐ pela forma de *acionamento*, como drivers elétrico, hidráulico e pneumático;
- ☐ pela forma de *conexão*, como drivers direto e indireto.

O sistema de acionamento, por sua vez, pode ser classificado, segundo a forma de movimento, em:

- ☐ *Driver de rotação*: consiste em um motor que, quando conectado à sua fonte de energia, provoca no eixo uma resposta em forma de movimento de rotação.
- ☐ *Driver deslizante*: consiste em um cilindro hidráulico ou pneumático. O movimento linear também pode ser produzido por um movimento rotativo mediante o uso de correias ou hastes empurradas pelo motor, ocorrendo uma conversão de movimento rotativo em linear.

8.5.2 FORMAS DE ACIONAMENTO DE UM BRAÇO ROBÓTICO

O sistema de acionamento pode ser classificado pelo modo como transforma energia em acionamento elétrico, hidráulico e pneumático.

ACIONAMENTO ELÉTRICO

Este tipo de acionamento utiliza motores elétricos que podem ser de corrente contínua, de passo e de corrente alternada. Muitos robôs novos têm drivers de motor de corrente contínua devido ao alto grau de precisão e simplicidade de controle do motor elétrico. A Figura 8.15 exibe o acionamento completo da junta de um robô industrial.

As principais vantagens desse sistema de acionamento são:

- a) eficiência calculada, com controle preciso;
- b) estrutura simples e de fácil manutenção;
- c) fonte de energia acessível;
- d) custo relativamente pequeno.

E as desvantagens seriam estas:

- a) impossibilidade de manter um momento constante nas mudanças de velocidade de rotação;
- b) possibilidade de ocorrência de danos no caso de cargas pesadas o suficiente para parar o motor;

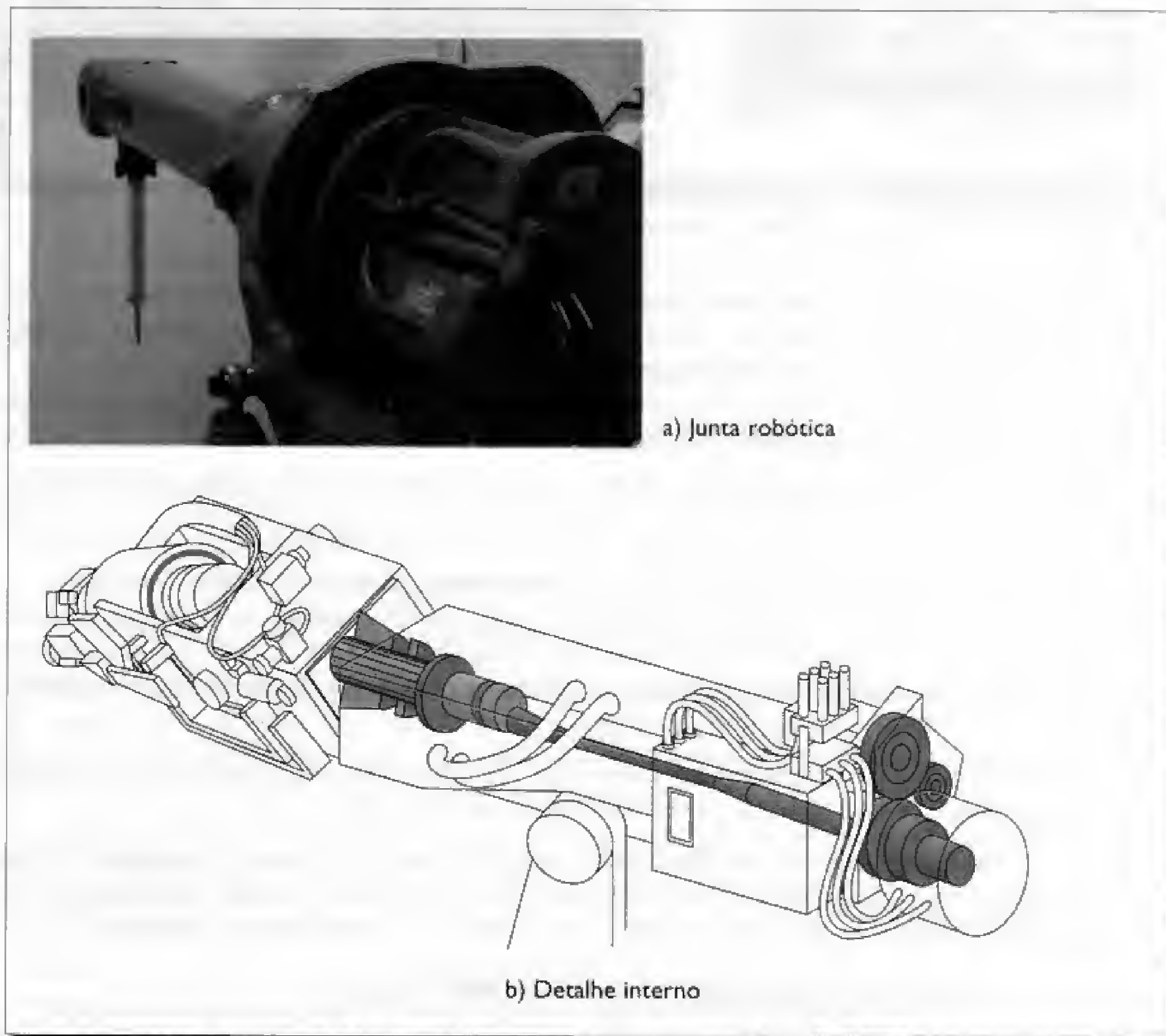


Figura 8.15 Sistema de acionamento elétrico de uma junta robótica.

- c) a baixa razão entre o peso do motor e sua potência de saída exige um motor de grande dimensão no braço.

ACIONAMENTO HIDRÁULICO

Este tipo de acionamento utiliza uma unidade hidráulica composta de um motor de movimento rotativo e de um cilindro para a realização de movimentos deslizantes. Essa unidade de acionamento hidráulico provoca movimento em pistões que comprimem o óleo, como mostra a Figura 8.16. O controle é feito por válvulas que regulam a pressão do óleo nas duas partes do cilindro e que impulsionam o pistão.

Eis as principais vantagens de um acionamento do tipo hidráulico:

- a) momento alto e constante sob uma grande faixa de variação de velocidade;
- b) precisão da operação, menor que a do acionamento elétrico e maior que a do pneumático (o óleo não é compressível e seu volume não varia quando a pressão sofre variação);
- c) possibilidade de manter um alto momento por um longo período de tempo, quando parado.

Destacam-se entre as desvantagens:

- a) fonte de energia cara;
- b) manutenção cara e intensa;
- c) válvulas de precisão caras;
- d) possibilidade de ocorrência de vazamento de óleo.

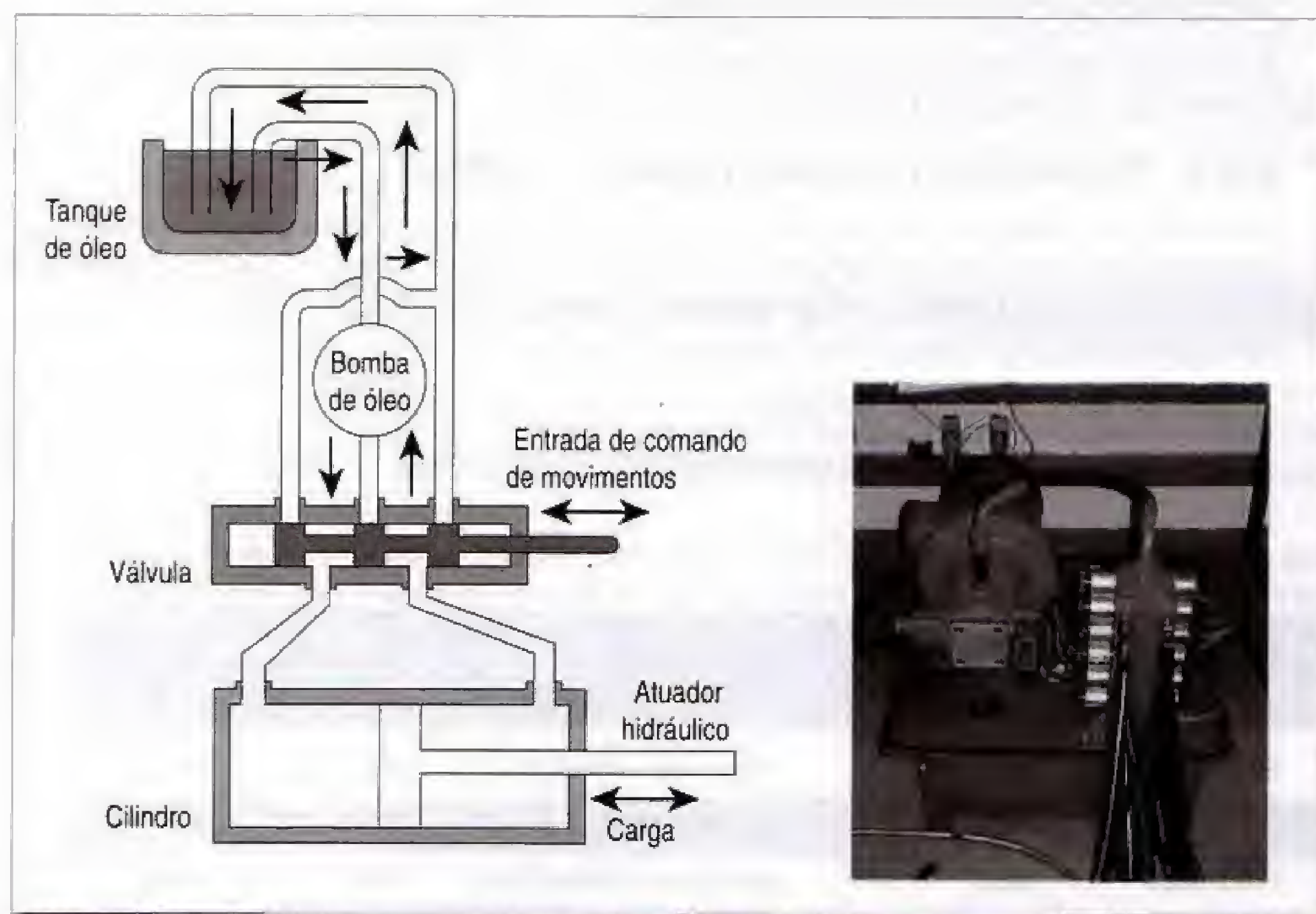


Figura 8.16 Unidade de acionamento hidráulico.

ACIONAMENTO PNEUMÁTICO

Similar ao hidráulico, o acionamento pneumático é composto de: motores pneumáticos de movimento rotativo e cilindros pneumáticos de movimento deslizante. Para representá-lo, podemos considerar a mesma Figura 8.16, mas lembrando que, na unidade de acionamento pneumático, utiliza-se ar no lugar de óleo.

Esse tipo de acionamento apresenta alto grau de precisão nas paradas, é empregado em sistemas automáticos simples, mas pouco utilizado em robôs devido à alta compressibilidade, o que reduz a habilidade de realizar controle preciso. É muito utilizado em movimentos de preensão, tanto para abrir como para fechar as garras.

As vantagens desse tipo de acionamento são:

- a) operação em velocidades extremamente altas;
- b) custo relativamente pequeno;
- c) fácil manutenção;
- d) possibilidade de manter um momento constante em uma grande faixa de velocidade;
- e) possibilidade de manter alto o momento por longos períodos de tempo sem danos, quando parado.

Dentre as principais desvantagens, constam:

- a) ausência de alta precisão;
- b) possibilidade de ocorrência de vibrações quando o motor ou cilindro pneumático é parado.

COMPARAÇÃO DE UTILIZAÇÃO DE ACIONAMENTOS

A Tabela 8.2 apresenta um quadro comparativo que mostra resumidamente as vantagens e as desvantagens da utilização de cada forma de acionamento.

8.5.3 CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A FORMA DE CONEXÃO

No caso do acionamento direto, o motor é montado diretamente na junta que ele vai mover. Se for montado longe dela, próximo da base, o acionamento é indireto; neste caso, usam-se elementos de transmissão como correntes, correias, diferenciais e engrenagens.

As vantagens do acionamento indireto sobre o direto são:

- redução do peso do braço mecânico;
- possibilidade de mudança na velocidade de rotação das juntas.

Acionamento	Precisão de posicionamento	Capacidade de transferência de carga	Velocidade	Custo
Elétrico	alta	pequenas e médias (20 kg)	alta	alto
Hidráulico	média-alta	pesadas (1.000 kg ou mais)	média-alta	médio-alto
Pneumático	baixa	pequenas e médias (10 kg)	alta	baixo

Tabela 8.2 Quadro comparativo das formas de acionamento elétrico, hidráulico e pneumático.

E as desvantagens são:

- ❑ falta de precisão da operação da junta devido à liberdade mecânica dos pontos de conexão entre os dispositivos de transferência;
- ❑ perdas consideráveis de potência.

8.5.4 FERRAMENTA TERMINAL

A ferramenta terminal (*end effector*) consiste em um sistema montado na extremidade do vínculo mais distante da base do robô, cuja tarefa é agarrar objetos e ferramentas e/ou transferi-los de um lugar para outro. São exemplos de ferramentas terminais a pistola de solda, as garras e os pulverizadores de tinta, sistemas com ventosas utilizadas em pallets etc.

8.6 PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS

Para que os robôs possam realizar sua missão, é necessário programá-los. Um robô pode executar tarefas por meio de programas elaborados diretamente no computador que o controla, os quais empregarão uma das várias linguagens de programação de robôs ou do modo repetição *playback*, em que se utiliza o 'comando manual'.

Tal método é usado para simplificar a programação, pois, quando o robô está no modo ensino (*teach*), é possível movê-lo da forma desejada por meio das teclas do comando manual. Também existe a possibilidade de editar programas, selecionar velocidades, mudar parâmetros da tarefa (por exemplo, inserir e/ou apagar parâmetros de soldagem), entre outras opções.

Após ser programado, o robô repete automaticamente os movimentos entre os pontos gravados. Se houver a necessidade de um ponto ser corrigido, pode-se executar o programa para trás passo a passo, alcançar o ponto desejado e corrigi-lo. O resultado é uma importante economia de tempo.

Nos últimos anos, a programação dos robôs industriais evoluiu bastante. Hoje, eles podem ser programados por comando vocal, por meio de sistemas gráficos interativos, da geração de planos de ação, de realidade virtual etc.

8.7 PRECISÃO E CAPACIDADE DE REPETIÇÃO

Dois parâmetros característicos dos robôs são a precisão e a capacidade de repetição. Por *precisão* entende-se a capacidade do robô de ir a uma posição desejada em um sistema de referência fixo (normalmente a base do robô), com um erro determinado (por exemplo ± 1 mm). Trata-se de precisão em posicionamento absoluto.

A *capacidade de repetição* pode ser entendida como a capacidade do robô de, uma vez conhecida e alcançada uma posição, e partindo sempre da mesma condição inicial, voltar a ir — isto é, repetir — a posição com um erro determinado. A maioria dos manuais dos robôs fornece informações sobre a capacidade de repetição, mas não sobre a precisão absoluta, muito mais difícil de obter (Armada, 1995).

8.8 GARRAS E FERRAMENTAS

Os robôs são projetados para atuar sobre seu ambiente, mas, para tanto, devem ser dotados de terminais (Figura 8.17) do tipo:



Figura 8.17 Exemplos de aplicações de ferramentas terminais para soldagem robotizada.

a) *garras ou mãos mecânicas:*

- ☐ com sujeição por pressão;
- ☐ com sujeição magnética;
- ☐ com sujeição a vácuo;
- ☐ com sujeição de peças a temperaturas elevadas;
- ☐ resistentes a produtos corrosivos/perigosos;
- ☐ com sensores etc.

b) *ferramentas especializadas:*

- ☐ pistolas pulverizadoras (pintura, metalização);
- ☐ soldagem por resistência por pontos;
- ☐ soldagem por arco;
- ☐ dispositivos de furação;
- ☐ polidoras etc.

Como o atuador é elemento fundamental na execução de uma tarefa, é necessário que seja adequadamente projetado e adaptado às condições do seu meio e da sua área de trabalho.

Existem dois tipos de atuador: as garras e as ferramentas. Neste capítulo, nosso estudo se limitará às garras. Os diferentes tipos de ferramenta serão abordados adiante, na seção de aplicações, já que as ferramentas são específicas para cada tipo de aplicação.

A garra é comparável à mão humana. No entanto, ela não é capaz de simular seus movimentos, fato que resulta na limitação dos movimentos a uma faixa de operações. A grande demanda por esse tipo de atuador acarretou o desenvolvimento de garras que podem manusear objetos de diferentes tamanhos, formas e materiais. Elas podem ser assim classificadas:

- ☐ garra de dois dedos;
- ☐ garra de três dedos;
- ☐ garra para objetos cilíndricos;
- ☐ garra para objetos frágeis;
- ☐ garra articulada;
- ☐ garra a vácuo e eletromagnética;
- ☐ adaptador automatizado de garras.

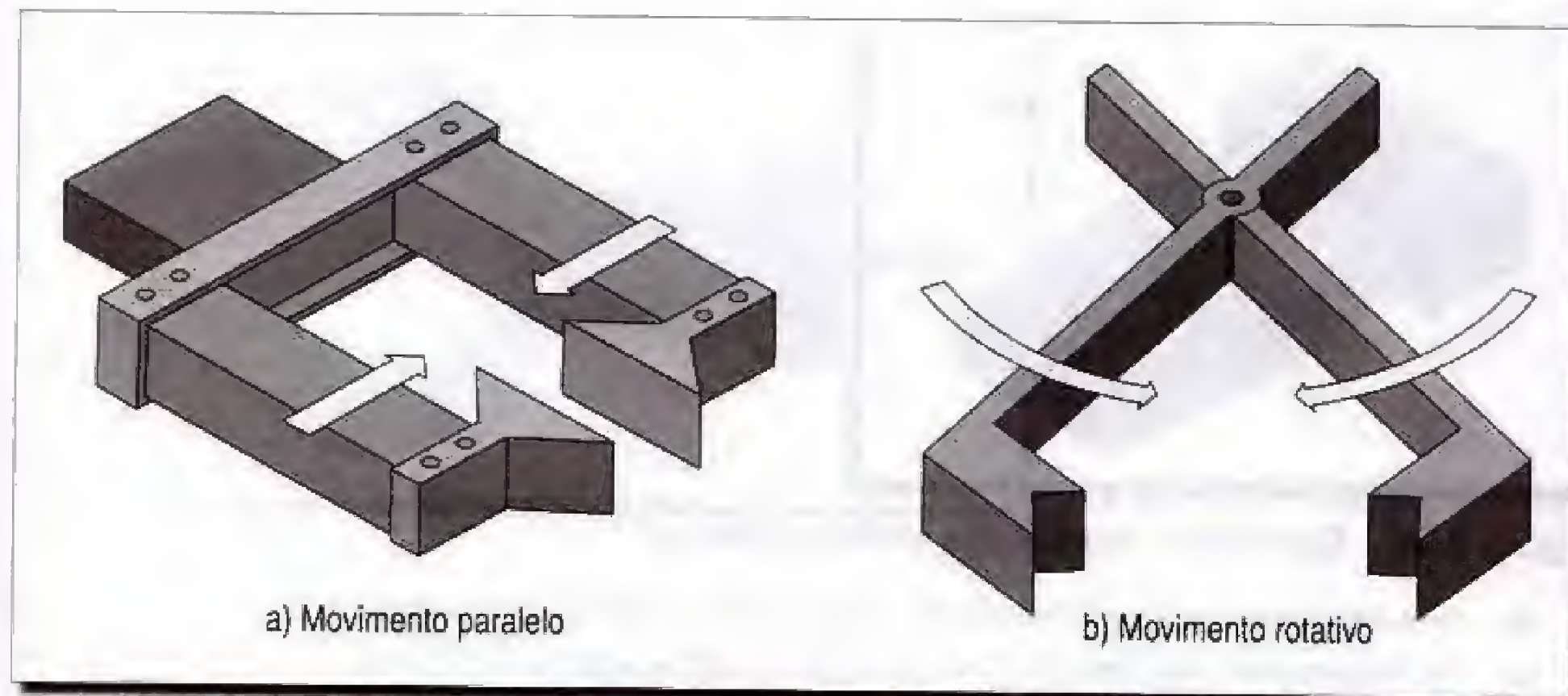


Figura 8.18 Formas de movimentação de garras.

8.8.1 GARRA DE DOIS DEDOS

Tipo mais comum de garra, apresenta grande variedade. Os tipos de garra de dois dedos diferenciam-se entre si pelo tamanho e/ou pelo movimento dos dedos, como o movimento paralelo, mostrado na Figura 8.18a, ou o movimento de rotação, representado na Figura 8.18b. A principal desvantagem dessa garra é a limitação da abertura dos dedos, o que restringe sua operação a objetos cujo tamanho não exceda a abertura máxima.

8.8.2 GARRA DE TRÊS DEDOS

É similar à garra de dois dedos, porém permite a preensão mais firme de objetos de forma circular, triangular e irregular. Os dedos, articulados, são formados por diversos vínculos, como se vê na Figura 8.19, abaixo.

8.8.3 GARRA PARA A PREENSÃO DE OBJETOS CILÍNDRICOS

Este tipo de garra consiste em dois dedos com vários semicírculos chanfrados (Figura 8.20), que permitem segurar objetos cilíndricos de diâmetros diferentes. As principais desvantagens decorrentes de seu uso são:

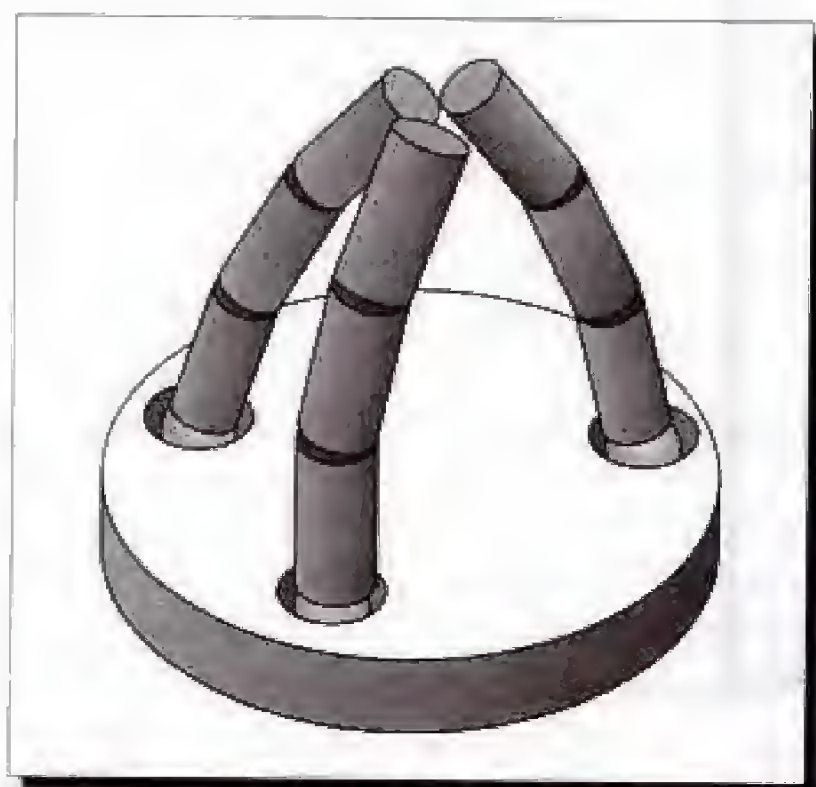


Figura 8.19 Garra de três dedos.

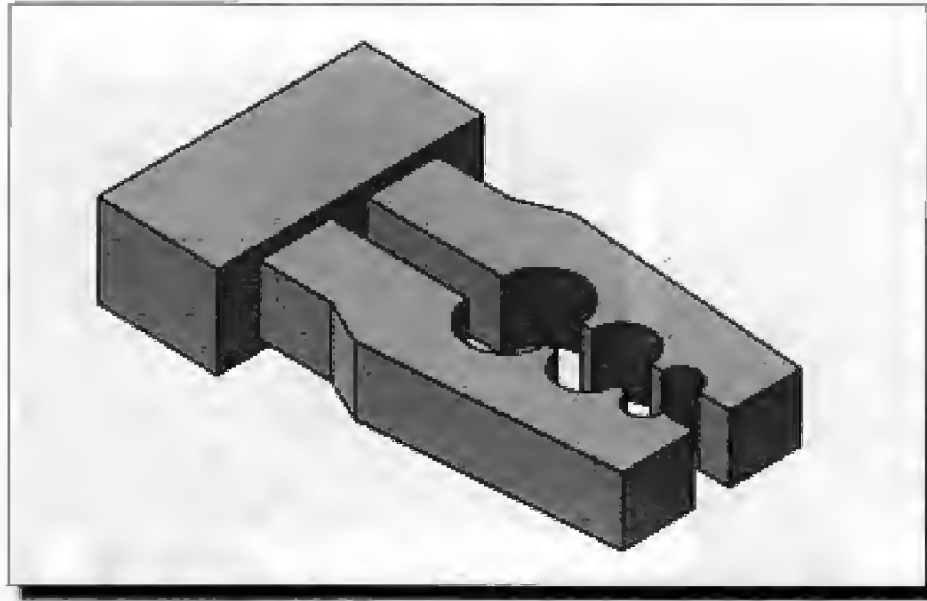


Figura 8.20 Garra para a prensão de objetos cilíndricos.

- ❑ seu peso deve ser sustentado pelo robô durante a operação;
- ❑ os movimentos são limitados em razão do comprimento da garra.

8.8.4 GARRA PARA A PRENSÃO DE OBJETOS FRÁGEIS

Garra própria para exercer certo grau de força durante a operação de segurar um corpo, sem causar danos de nenhuma ordem, é constituída de dois dedos flexíveis que se curvam para dentro, a fim de agarrar um objeto frágil. Seu controle, como se vê na Figura 8.21, é feito por um compressor de ar.

8.8.5 GARRA ARTICULADA

É projetada para agarrar objetos de diferentes tamanhos e formas. Os vínculos são movimentados por pares de cabos: um cabo flexiona a articulação e o outro a estende. A destreza em segurar objetos de formas irregulares e tamanhos distintos se deve à existência de um número elevado de vínculos, conforme mostra a Figura 8.22.

8.8.6 GARRA A VÁCUO E ELETROMAGNÉTICA

A garra a vácuo, projetada para prender uma superfície lisa durante a ação do vácuo, possui ventosas de sucção conectadas à bomba de ar comprimido que prendem superfícies como chapas metálicas e caixas de papelão. Para reduzir o risco de funcionamento irregular devido à perda de vácuo, é comum usar mais do que uma ventosa de sucção (Figura 8.23).

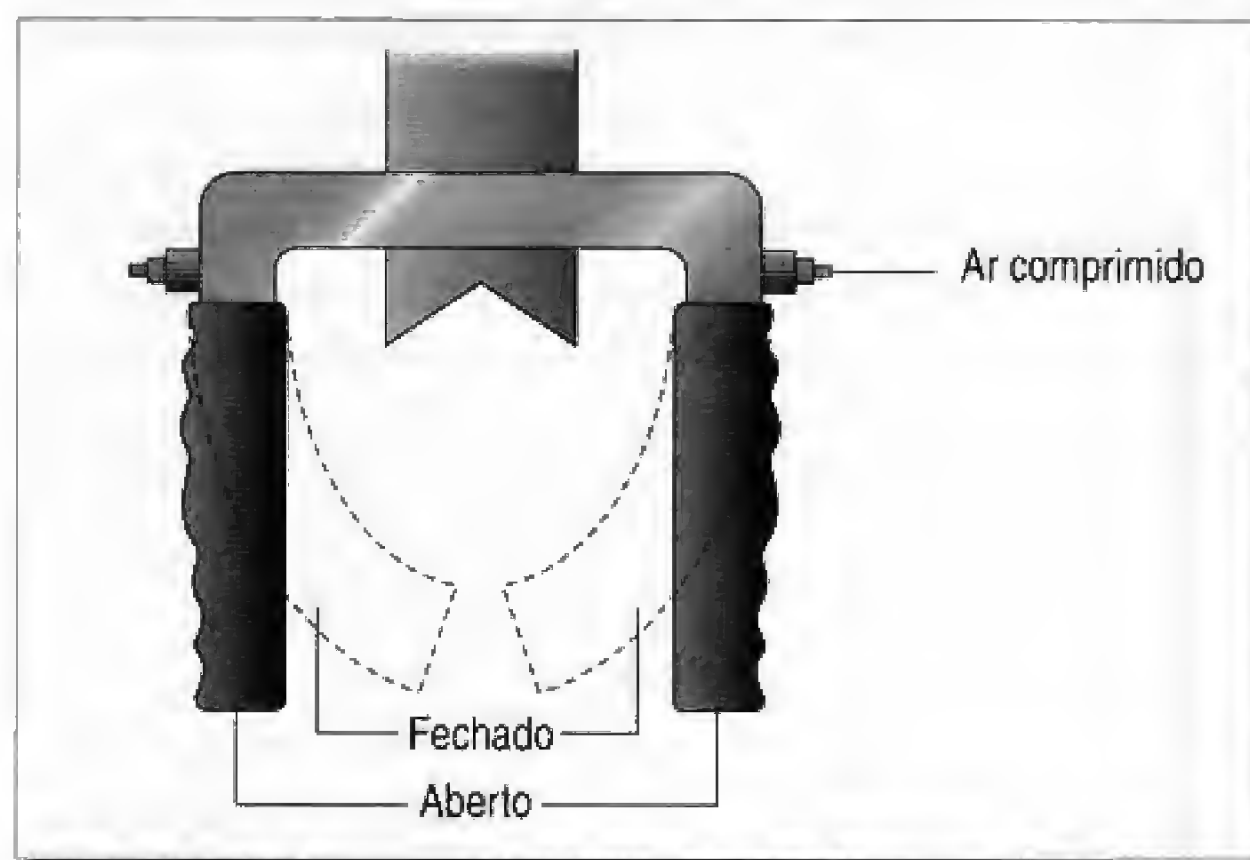


Figura 8.21 Garra para a prensão de objetos frágeis.

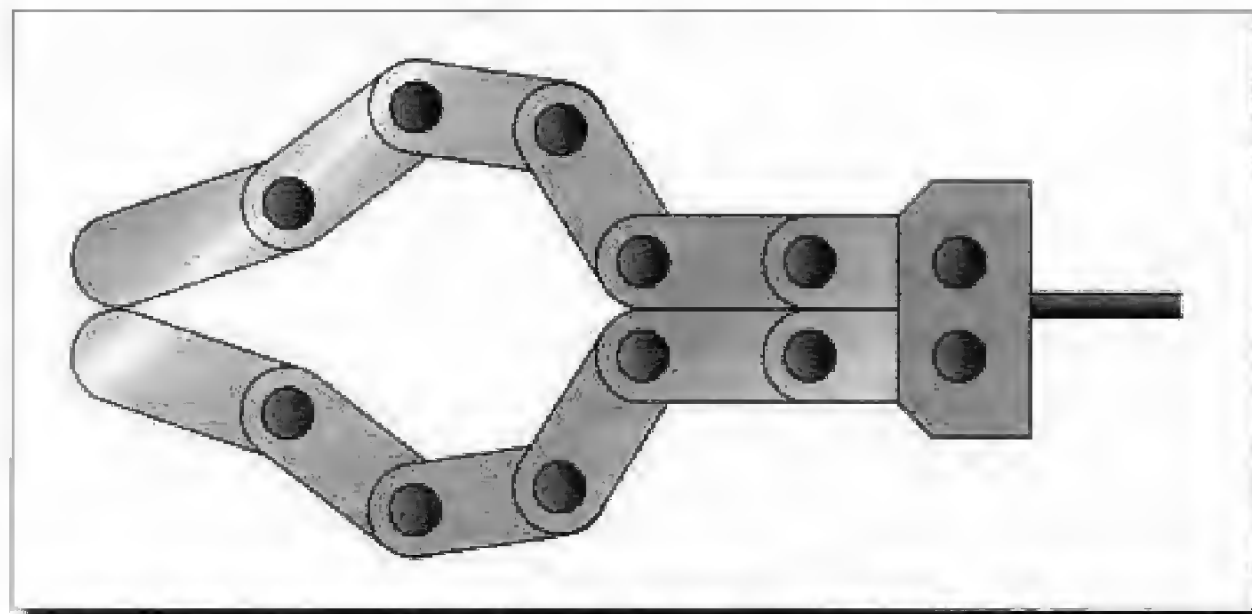


Figura 8.22 Garra articulada.

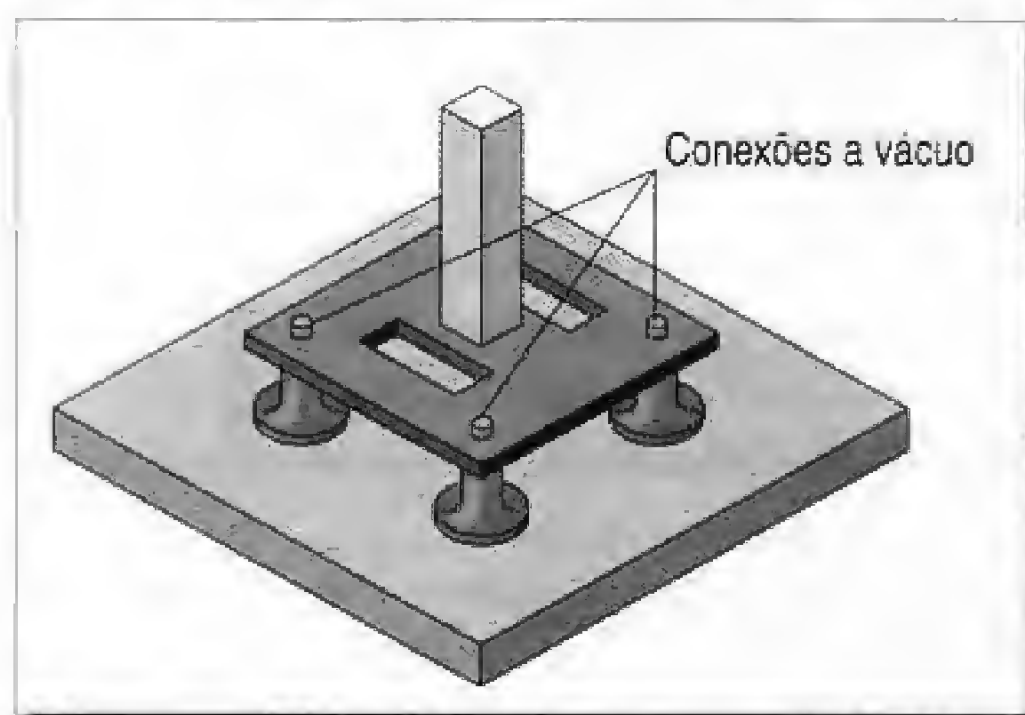


Figura 8.23 Garra a vácuo.

A garra eletromagnética é utilizada para segurar objetos que podem ser magnetizados (aço e níquel) por um campo magnético. Eles devem possuir um lugar específico em que a garra possa atuar. Tanto a garra a vácuo quanto a eletromagnética são bastante eficientes porque podem segurar objetos de vários tamanhos e não necessitam de muita precisão no posicionamento.

8.8.7 ADAPTADOR AUTOMATIZADO DE GARRA

Surgiu da necessidade de se ter uma garra capaz de realizar a preensão dos mais variados tipos de objetos, dando origem ao trocador automatizado de ferramentas (*automatic gripper changer*), que é um adaptador que permite que diferentes sistemas de preensão sejam rapidamente ligados ou removidos de um elemento terminal do robô. Ele deve se conectar ao braço do robô por meio de um sistema de acionamento elétrico, mecânico ou pneumático. No projeto de um trocador automatizado de ferramentas, devemos atender aos seguintes aspectos críticos:

- a) o peso adicional na extremidade do braço do robô;
- b) complicações tecnológicas, que consistem em fonte potencial de mau funcionamento;
- c) acréscimo no custo do robô;
- d) tempo adicional gasto na troca das garras.

Diante desses fatos, verifica-se que o desenvolvimento e a produção de garras fazem parte de um estágio importante no projeto de robôs para tarefas particulares. Em geral, os fabricantes vendem robôs desprovidos do atuador; garras e ferramentas são escolhidas e adaptadas pela equipe de engenharia que instala o robô no local de trabalho. Trata-se de uma etapa crítica da instalação, por requerer alto nível de conhecimento e prática.

CONCLUSÃO

Neste capítulo foram abordados os aspectos construtivos dos manipuladores robóticos, com a apresentação de configurações industriais básicas, mecanismos de manipulação e preensão de objetos e aplicações. Deu-se ênfase ao estudo do braço mecânico do robô, com a descrição dos tipos de junta, graus de liberdade e articulações, da área de trabalho e das formas de acionamento.

A robótica, área que requer conhecimentos provenientes de diversos campos (projeto mecânico, eletrônica de potência, integração de grande escala e engenharia de software), continuará a ser influenciada pelos avanços em acionamentos, controle, mecanismos, programação e sensores (Armada, 1995).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABB – Asea Brown Boveri International. ABB Robotics Report, 2000.
- Armada, M. A. *Controle de Robots*. XV Curso de Automática en la Industria. Aguadulce, jun. 1995.
- Asfahl, C. Ray. *Robots and manufacturing automation*. 2. ed. Nova York: John Willey & Sons, 1992.
- Basañez, L. *Multi-sensor integration in robotics*. Workshop on robotics and CIM. Lisboa, 13-15 set. 1989.
- Bastos, T. T. *Seguimiento y análisis de entornos de soldadura por arco automatizada mediante ultrasonidos*. Tese de doutorado — Universidad Complutense de Madrid, 1994.
- Camelot, Ropsim. "Robot off-line programming and Simulation system for industrial robots". Disponível em: <<http://www.camelot.dk/english/offvson.htm>>. Acesso em: 26 jun. 2003.
- Engelberger, J. F. "Robotics in the 21st century". *Scientific American*, set. 1995.
- Groover, Mikell P. "Automation". In: Dorf, Richard C. (Ed.); Nof, Shimon Y. *International encyclopedia of robotics: applications and automation*. Nova York: John Willey & Sons, 1988, p. 136-151.
- IFR — International Federation of Robotics. Disponível em: <www.ifr.org>. Acesso em: 2004.
- Introducing robotics, technical specifications of Pegasus 11: articulated servo robot system*. Edacom Tecnologia, São Caetano do Sul.
- Nof, S. Y. *Handbook of industrial robotics*. Nova York: John Wiley & Sons, 1985.
- Scheinman, V. "Ideas on implementing modular robot systems". Technical Paper of Advanced Cybernetics Group, Inc. Disponível em: <<http://www.advanced-cybernetics.com/bmodula.htm>>. Acesso em: 17 jun. 1998.
- Spong, M. W.; Vidyasagar, M. *Robot dynamics and control*. Nova York: John Wiley & Sons, Inc., 1989.